	지스트(광주과학기술원) 보도자료 http://www.gist.ac.kr	
보도시점	배포 즉시 보도 부탁드립니다.	
배포일	2020.06.16.(화)	
보도자료 담당	홍보팀 김효정 팀장	062-715-2061
	홍보팀 이나영 선임행정원	062-715-2062
자료 문의	신소재공학부 엄광섭 교수	062-715-2313

성능 월등한 나트륨 이온 배터리 개발

– 리튬 이온 배터리의 가격을 획기적으로 낮출 수 있는 고용량/고효율 나트륨 이온 배터리 개발에 성공... 현 리튬 이온 배터리의 에너지 저장 용량에 맞먹는 280 Wh/kg 구현

– 엄광섭 교수팀, 연구성과 세계적인 학술지인 'Advanced Functional Materials'에 게재

□ 지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 신소재공학부 엄광섭 교수 연구팀이 초저가 나트륨을 이용한 '나트륨 이온 배터리'를 리튬 이차전지 수준으로 고용량화 하는데 성공하였다.

□ 현재 가장 널리 활용되는 리튬 이온 배터리의 주 재료인 리튬은 희귀 금속으로 지역적 편중과 가격 변동이 심해 전기자동차나 스마트 그리드와 같은 초대형 에너지 저장 장치에는 적합하지 않다. 따라서 이를 대체할 차세대 배터리 소재에 대한 새로운 재료 연구가 활발히 진행되고 있다.

◦ 그 대안으로 주변에서 흔하게 구할 수 있는 나트륨 자원을 활용하는 연구가 진행되고 있으나 나트륨 이온은 리튬 이온에 비해 3배 이상 무겁기 때문에 전기화학 반응에 더 큰 저항을 동반한다. 따라서 상용화를 위해서는 전극을 더욱 두껍게 만들면서도 성능을 유지하는 기술이 필요하다.

◦ 또한 일반적으로 나트륨 이온 배터리는 용량, 출력, 수명, 에너지 변환 효율 등의 성능이 리튬 이온 배터리와 비교하면 매우 낮아 이는 상용화의 큰 걸림돌로 작용한다.

□ 연구팀은 많은 에너지를 저장할 수 있지만 저항이 커서 상용화에 어려움이 있던 불화인산바나듐나트륨(Sodium vanadium fluorophosphate, $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$) 양극재와 주석 인화물(SnP_x) 음극재를 사용하는 나트륨 이온 배터리를 개발하여 기존 리튬 이온 배터리와 동일한 무게에 같은 성능을 구현하는데 성공했다.

◦ 용액공정을 통해 불화인산바나듐나트륨 양극재의 크기를 수백 나노미터로 제어하는 동시에 높은 전도성을 갖는 그래핀 표면에 균일하게 분포시켜 기존 연구단계에서 사용하던 전극의 두께보다 5~10배 높은 두께에서도 성능 저하가 거의 없는 양극을 실현하였다.

◦ 또한, 특정 화학적 조성비(주석:인 비율)를 갖는 주석 인화물 재료가 충전 및 방전 과정에서 독특한 구조 변화를 일으킴으로써 출력 성능, 수명, 에너지 변환 효율 등이 획기적으로 증가하는 것을 발견했다. 기존 합성 기술로는 이러한 조성비를 조절하며 전극 재료의 성능 향상을 위해 필수적인 나노구조를 구현할 수 없었지만 이번에 개발한 방법을 통해 이를 가능하게 했다.

□ 엄광섭 교수는 “새로운 고용량 및 저가의 나트륨 이온 배터리를 개발하는데 있어 기초적인 배터리 설계 방법 및 재료 설계 방법을 확립했을 뿐만 아니라 배터리의 상용화에서 가장 중요한 전극 두께를 증가시킬 수 있는 기술을 확보했다” 면서, “후속 연구를 통해 여러 형태의 나트륨 이온 배터리를 상용화 한다면 배터리 소재에 대한 해외 의존도를 낮추고 경제성을 확보 할 수 있을 것으로 기대된다”고 말했다.

□ 지스트 신소재공학부 엄광섭 교수가 지도하고 송하용 박사과정생이 수행한 이번 연구는 GIST Research Institute(GRI)의 차세대에너지연구소 및 LG화학의 신임교수과제의 지원을 받아 진행되었으며, 연구성과는 첨단 소재 분야의 세계적인 학술지인 ‘어드밴스드 펑셔널 머티리얼즈’(Advanced Functional Materials)에 2020년 6월 9일자로 온라인 게재됐다. <끝>

※ 논문 제목 : Overcoming the Unfavorable Kinetics of $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$//SnP_x Full-Cell Sodium-Ion Batteries for High Specific Energy and Energy Efficiency.

제1저자 : 송하용 박사과정생 (지스트 신소재공학부)

교신저자 : 엄광섭 교수 (지스트 신소재공학부)

용 어 설 명

1. 나트륨 이차 전지 및 문제점

◦ 나트륨이온전지는 리튬이온전지와 마찬가지로 전해질 내에 전기화학적 전위차가 있는 양극과 음극으로 구성되어 전기에너지가 필요시 전자 및 나트륨이온이 자발적으로 음극에서 양극으로 이동하여 전기에너지를 생성한다. 충전 시에는 외부에서 전기에너지를 가하여 다시 나트륨이온과 전자를 다시 음극으로 보내어 원래의 상태로 돌릴 수 있다. 즉, 리튬이온전지와 마찬가지로 충/방전이 용이하게 가능한 에너지 저장 시스템(2차 전지)이다. 그러나 나트륨이온은 리튬이온에 비해 3배 이상 무겁고 전지전압 또한 0.3 V 낮기 때문에 현재 상용화된 리튬이온전지에 비해 에너지 저장 용량이 낮고 출력을 높이기 힘들며, 나트륨 이온이 전극 물질 내부로 들어갔다 나왔다 하는 과정이 반복되며 부피 변화가 일어나 구조가 붕괴되는 등의 문제도 리튬이온전지에 비해 크기 때문에 수명 또한 짧다.

2. 주석 인화물 음극과 화학 조성

◦ 상용화된 리튬이온전지는 이론 용량이 372 mAh/g에 달하며 저항이 작은 흑연 음극을 사용하지만, 흑연은 많은 수의 나트륨이온을 저장할 수 없다. 나트륨을 저장할 수 있는 탄소재료로서 난층구조를 갖는 하드 카본이 있지만 용량은 300 mAh/g 이하로 낮고 전지전압 또한 흑연과 비교하여 0.2 V 정도 낮아진다. 따라서 리튬이온전지의 에너지 저장 용량을 실현하기 위해서는 1000 mAh/g 이상의 나트륨이온 저장용량을 갖으며 전지전압을 높일 수 있는 음극재료가 필요하다.

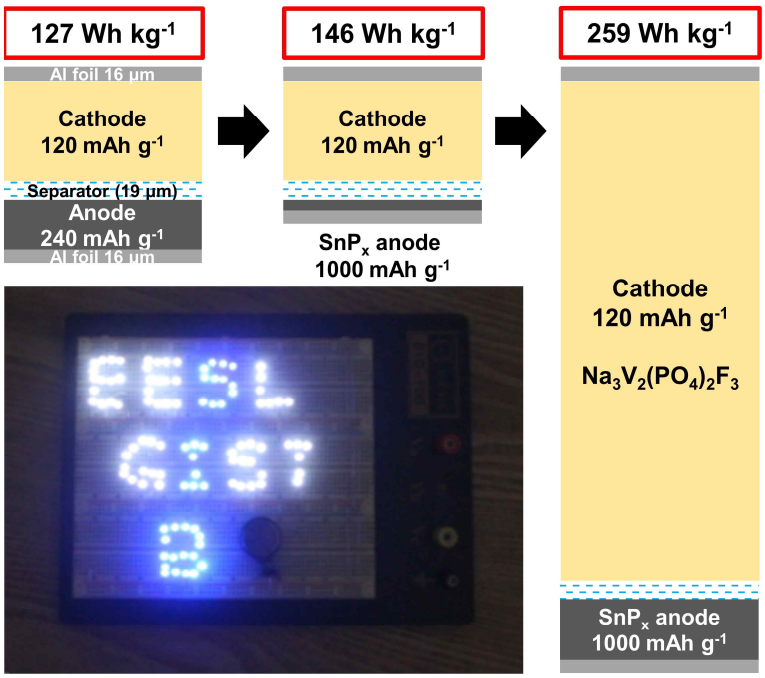
◦ 주석 인화물 (SnP_x) 음극 활물질은 주석(Sn)과 인(P)의 화합물로서 Sn_4P_3 ~ SnP_3까지 다양한 조성의 화합물이 존재한다. 주석과 인이 각각 합금화 반응과 전환 반응을 통해 나트륨이온을 저장하는데, 무게가 가벼운 인이 중량당 나트륨이온 저장용량이 크기 때문에 일반적으로 인의 비율이 높아지면 용량은 높아진다. 하지만 전도성이 낮은 인의 비율이 높아질수록 출력 성능이 낮아지고 수명이 짧아지는 문제가 있다. 또한, 낮은 전도성으로 인해 전극 저항이 커지면 충전에 필요한 전압과 방전에 필요한 전압의 차이가 크면 에너지 변환 효율이 떨어진다.

3. 전극 두께

◦ 수십년 전부터 현재까지 리튬이온전지는 중량당, 부피당 에너지가 2배이상 증가하였다. 이러한 발전에 기여한 것은 사실 전극 재료가 크게 바뀐 것보다 패키징 기술의 발전에 기인한다. 배터리는 에너지 저장 용량을 결정하는 전극 활물질 (양극재 및 음극재)이외에도 전극 집전체, 분리막, 전해액, 하우징 등 다양한 구성요소가 있다. 따라서 배터리의 전체 중량에서 활물질이 점유하는 중량비율을 증가시키면 똑같은 전극

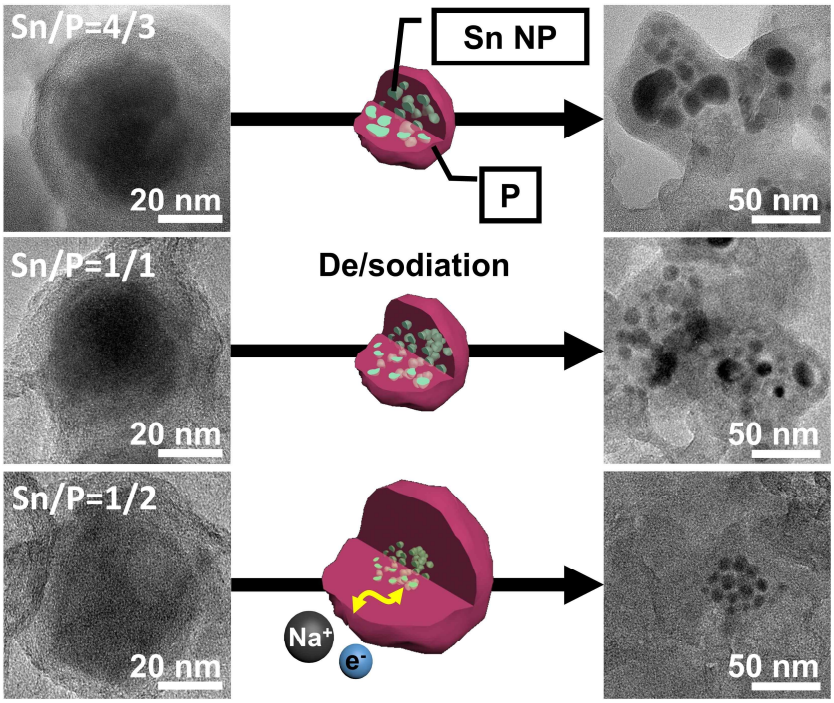
재료를 사용해도 에너지 저장 용량은 더욱 늘어난다. 즉, 전극 두께를 두껍게 만들면 만들수록 사용되는 분리막, 전해액, 집전체의 중량이 줄어들며, 에너지 저장 용량은 더욱 늘어나게 된다. 하지만 전극 두께가 두꺼워질수록 전기저항이나 이온 확산 저항과 같은 저항이 크게 증가하기 때문에 에너지 저장 용량과 에너지 변환 효율이 오히려 감소할 수 있으며, 따라서 전극의 두께 증가에 따른 성능 저하를 억제하는 기술이 중요하다.

그 림 설 명



[그림 1] $Na_3V_2(PO_4)_2F_3$ 양극과 SnP_x 음극으로 이루어진 나트륨 이온 이차전지의 에너지 저장 용량 비교.

모식도는 집전체, 양극, 분리막, 음극으로 이루어진 배터리의 구성요소를 나타낸다. 전극의 나트륨이온 저장 용량을 단순히 증가시켜서 얻어지는 에너지 저장 용량의 증가 효과는 미약하지만, 전극의 나트륨이온 저장 용량을 증가시키며 전극의 면적당 무게(즉, 두께)를 기존의 나트륨 배터리 연구에서 일반적으로 사용해왔던 ~ 3 mg cm^{-2}에서 5배 이상 증가시킬 수 있으면 현재보다 2배 이상 높은, 즉 리튬 이온 배터리의 에너지 저장 용량에 필적하는 나트륨 이온 배터리를 개발할 수 있다. 일반적으로 기존 연구에서 보고하는 연구 결과는 왼쪽 두 개의 모식도와 같이, 얇은 전극을 사용하고, 상용화되는 배터리는 오른쪽 그림과 같이 두꺼운 전극을 사용한다. 이는 전극의 두께와 상관없이 집전체나 분리막 등의 사용량은 동일하기 때문에 전극이 두꺼워질수록 배터리 구성에 필요하지만 에너지 저장 용량에는 기여하지 않는 무게를 줄일 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 오른쪽과 같이 두께를 5배 이상 증가시켜도 에너지는 비율대로 증가하고 성능의 감소는 최소화할 수 있는 기술을 개발하여 초고용량 나트륨 이온 배터리를 구현하는 것을 가능하게 하였다. 또한, 개발 나트륨 이온 풀셀 배터리는 소형 코인셀 형태로도 3V급 LED 100여개를 켜는데 문제가 없었다 (왼쪽 아래 이미지)



[그림 2] 투과전자현미경을 통해 관찰한 주석인화물(SnP_x) 음극 재료의 주석/인 비율에 따른 충전/방전시의 나노구조 변화.

모식도는 주석과 인의 비율이 각각 다른 주석인화물이 충전 및 방전을 반복했을 때 발생하는 내부 미세구조 (Network microstructure) 변화를 나타낸다. 빨간색(인, P) 매트리스 안에 미분화(pulverization)된 초록색(주석, Sn) 나노입자가 위치하는데 특정(Sn/P=1/1) 주석/인 비율에서 가장 균일한 분포를 나타내며, 이 때 나트륨 이온과 전자의 이동거리가 가장 최소화 될 수 있다. 즉, 전극 이온 및 전자 이동 저항이 감소하여 에너지 저장 용량과 에너지 변환 효율이 증가하는 요인이다. 본 연구에서는 주석과 인 비율을 조절할 수 있는 제조 공법을 개발하였고, 이를 통해 인/주석 음극 전극의 전기화학 특성을 최적화함으로써 나트륨 이온 전지의 비에너지와 에너지 효율을 극대화하는데 성공하였다.